

***INFORME DE CONSULTORIA***  
***CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO***

Documento Técnico 51 /1997

Mayo, 1997

---

## TABLA DE CONTENIDO

---

			Página
PRESENTACION			
SECCION	I	ANALISIS Y EVALUACION DE LOS METODOS PARA EL MONITOREO DE LA DINAMICA DEL BOSQUE	I-1
SECCION	II	ESTANDARES PARA EL MONITOREO DE LA DINAMICA DEL BOSQUE NATURAL	II-1
	A.	Las Parcelas Permanentes	II-1
	B.	Número de Parcelas	II-2
	C.	Identificación de los Arboles	II-2
	D.	Marcación de los Arboles	II-3
	E.	Programa de Mediciones	II-3
	F.	Variables	II-4
	G.	Precisión	II-5
	H.	Control de Errores de Medición	II-5
	I.	Control de Errores de Anotación y Digitación	II-6
SECCION	III	METODOS BASICOS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION DE PPMs	III-1
	A.	Ubicación y Mapeo de los Arboles	III-1
	B.	Crecimiento	III-3
	C.	Ecuación de Incremento Corriente Anual ICA	III-3
	D.	Período del Incremento	III-4
	E.	Dispersión de la Información	III-4
	F.	Efecto de otros Factores	III-5
	G.	Tiempos de Paso	III-5
	H.	Aplicaciones de la Información	III-6
	H1.	Uso	III-10
	H2.	Fórmulas	III-11

SECCION	IV	ANALISIS DE BASES DE INFORMACION Y DESARROLLO DE MODELOS DE CRECIMIENTO	IV-1
		A. Modelos en Oquiriquia	IV-1
		B. Modelos en Lomerío	IV-2
		C. Simulación del Crecimiento	IV-4
		D. Modelos Específicos	IV-4
SECCION	V	BIBLIOGRAFIA	V-1
ANEXO 1:		Indicadores Estadísticos de los Modelos Ajustados	A1-1

## **PRESENTACION**

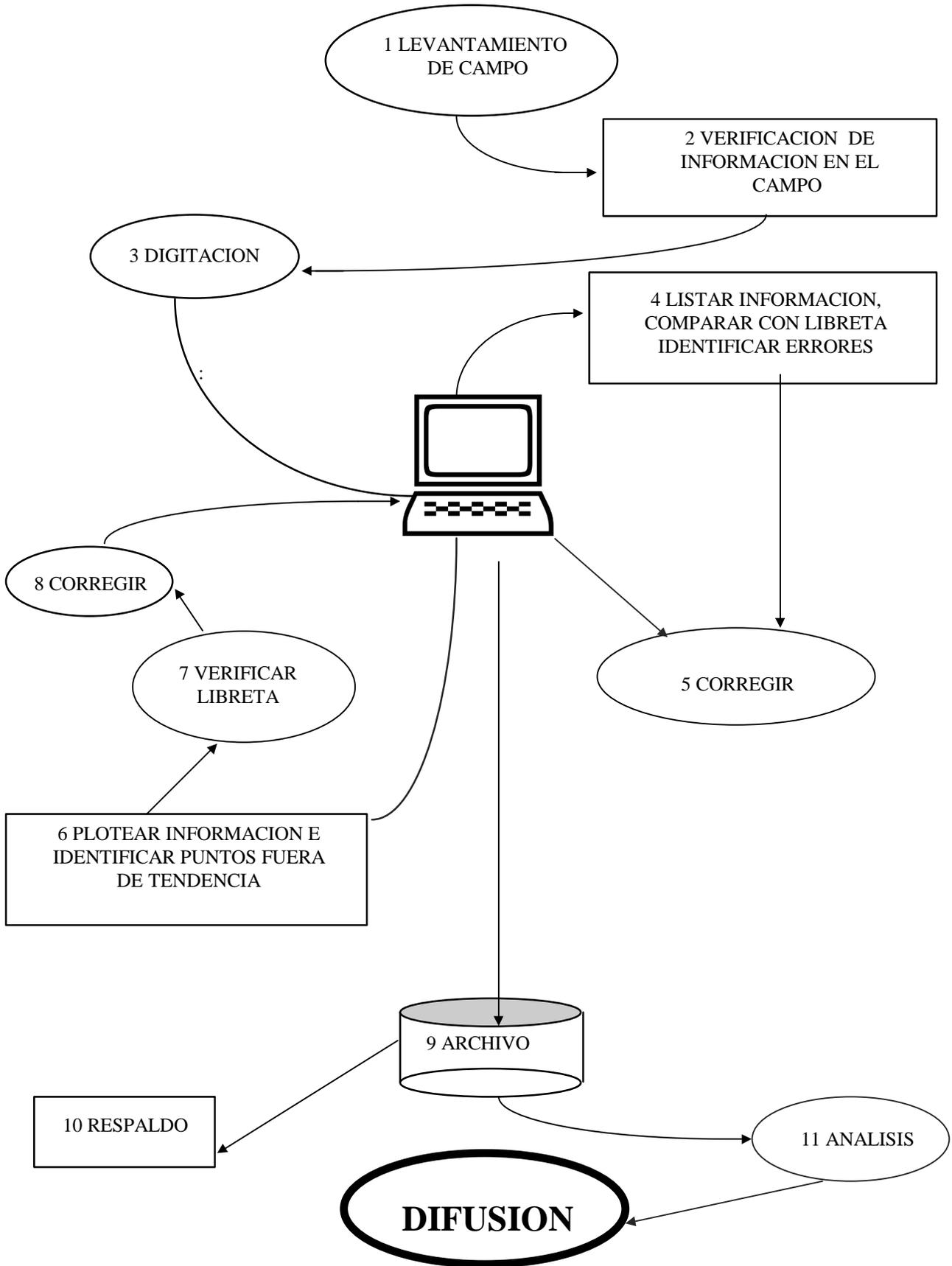
El monitoreo de cualquier proceso consiste en un flujo de información que retroalimenta al sistema permitiendo hacer los ajustes correspondientes. En el caso del crecimiento del bosque tropical se trata de una información muy importante en la planificación del manejo forestal ya que en la mayoría de los casos en la región tropical se inicia el manejo desconociendo las tasas de crecimiento o teniendo una estimación muy rudimentaria que en muchas ocasiones sobrestima los ritmos de este proceso biológico.

Para la elaboración del presente informe se analizó la documentación y archivos de datos de las parcelas permanentes establecidas por el proyecto, para lo que se contó con la información y apoyo de parte del Ingeniero Freddy Contreras. Se ha tomado en cuenta la experiencia desarrollada en Costa Rica respecto al manejo de un Sistema de Parcelas Permanentes de Muestreo y la principal información relacionada con el tema, disponible en la literatura.

El informe contempla cuatro secciones, correspondientes con tareas específicas indicadas en los términos de referencia. La quinta tarea específica se refiere a una charla dirigida al personal del proyecto y de entidades relacionadas con él.

El flujo de información, que se esquematiza a continuación sirve de guía en el proceso de monitoreo y para definir los principales puntos de control que de acuerdo con la experiencia se consideran indispensables.

FLUJO DE INFORMACION



---

## SECCION I

### ANALISIS Y EVALUACION DE LOS METODOS PARA EL MONITOREO DE LA DINAMICA DEL BOSQUE

---

Se analizaron varios documentos y archivos con información de diferentes sitios: Oquiriquia, Lago Caimán, Tierra Prometida y Las Trancas en Lomerío, los objetivos aparentemente son diferentes, identificar el efecto de las intervenciones, en los dos primeros casos y el suministro de información cuantitativa para la planificación del manejo en el caso de Las Trancas. Es necesario definir un sistema jerárquico de objetivos para el seguimiento de la dinámica del bosque. Los objetivos deben ser congruentes con las condiciones de manejo y los objetivos y alcances de BOLFOR. Se recomienda realizar un taller, a la luz de la planificación estratégica del proyecto, para definir los objetivos del monitoreo de la dinámica del bosque natural, ¿Qué uso le dará BOLFOR a la información ? y ¿Qué institución continuará la función de levantar, analizar y difundir o aplicar la información una vez que el proyecto concluya ?.

En una situación de manejo extensivo, en la que el objetivo principal del Inventario Forestal Continuo (IFC) es de obtener información preliminar sobre la dinámica del bosque para la planificación de su manejo y para orientar las políticas sobre el manejo del bosque a nivel nacional como en el caso de Bolivia, lo más recomendable es establecer un Sistema de Parcelas Permanente de Muestreo (SPPM) con la mayor cobertura y representatividad de los tipos de bosque más importantes para el manejo. El tamaño y forma de las parcelas puede variar, para aprovechar ventajas estratégicas, por ejemplo usar como permanentes las parcelas de un inventario, sin embargo las parcelas convencionales, cuadradas de una hectárea, parecen ser las más adecuadas para evaluar la dinámica del bosque y el incremento de los árboles individuales. Se recomienda evaluar la alternativa de establecer PPM convencionales para complementar el SPPM.

Hasta el momento el monitoreo es una de las actividades contempladas en el manejo y, por la magnitud actual del sistema, se realiza satisfactoriamente. Sin embargo, al crecer el número de parcelas para tener una mejor estimación del incremento en las diferentes situaciones y ambientes de manejo, se incrementarán las necesidades de coordinación y dirección técnica. Por otra parte, se han establecido ensayos silviculturales relacionados con la regeneración y el crecimiento de los árboles. A la luz de la información analizada, pareciera no haber un plan de investigación estructurado y sistematizado que garantice que los esfuerzos hechos en este sentido producirán la información que se necesita en el momento adecuado. Se recomienda definir un programa de investigación, que comprenda los aspectos de monitoreo, con objetivos claros y que se designe a un profesional responsable de coordinar los trabajos de establecimiento, levantamiento, análisis y difusión de la información, esta persona será responsable por la calidad y fidelidad de la misma. Un ejemplo de la necesidad de una coordinación más efectiva es la pobre calidad de la información levantada en Bajo Paraguá, atribuible a no haber marcado el punto de medición durante el establecimiento de las parcelas.

Dentro de la información sobre parcelas en Oquiriquia, en el manuscrito, se indica que “...Las variables que contengan 0 o vacío en el año 96 supone igual valor que en el 95”. El ingeniero Contreras indicó luego, que en realidad los ceros correspondían a árboles muertos. Es indispensable codificar las diferentes situaciones, por ejemplo se sugiere:

-99 para árboles muertos

-88 para árboles imposibles de medir y, en el archivo, para las celdas anteriores al ingreso de un árbol a la categoría menor (10 cm d)

De igual manera se sugiere seguir la clasificación de posiciones y calidades de copa propuesta por Dawkins (1958) y Synnott (1991).

Hasta donde sea posible se deben efectuar las mediciones en los años sucesivos, en la misma fecha o semana del año, para definir el incremento anual, sin embargo esto es difícil cuando aumenta el número de parcelas y de sitios, en caso de que el período entre mediciones sea diferente a uno, o más, años exactos se debe ajustar.

En la descripción de las parcelas ubicadas en Las Trancas se indica que las parcelas se ubican con una dirección NE, SW, a ambos lados de una brecha central y numerados alternamente, derecha e izquierda, en el sentido de avance en la brecha. Para facilitar el replanteo de la parcela y la ubicación de los árboles es recomendable, aunque no indispensable, orientar las parcelas con rumbos francos. Las PPM se analizan como un plano cartesiano con el origen (0,0) en la esquina Sudoeste, cada cuadrado se identificará con un par ordenado (X; Y), de acuerdo con su ubicación en el plano.

En el mismo informe se indica, “... en el primer árbol de cada subparcela se marca el número de subparcela, encerrado en un círculo y, por debajo, el número de árbol”, este método puede crear confusión al identificar los árboles y, en caso de muerte de uno de los árboles que contienen la identificación, esta se pierde. Para facilitar la información se recomienda usar un código que comprenda los dígitos correspondientes al par ordenado del cuadrado en el que se encuentre y al número consecutivo de árbol dentro del cuadrado. Es recomendable codificar e identificar cada parcela en el campo y que este código sea un identificador eficiente a nivel de manejo de archivo.

En los análisis realizados a partir de la información disponible se han encontrado algunos casos que se salen evidentemente de la tendencia de la población de incrementos, de igual manera el elevado número de individuos de las categorías de menor dimensión, 10 a 30 cm, comparado con el de las categorías de mayor tamaño, 60 a 80 cm, han provocado distorsiones que se deben corregir. Estos aspectos se abordan en el aparte de métodos básicos de procesamiento de información de PPMs.

Una de las mayores limitaciones en los estudios de dinámica y crecimiento de bosque natural es la correspondiente a la ubicación taxonómica de los árboles. Lo más importante es separar las especies, ya sea como desconocidos, a nivel de familia o de género, pero sin agrupar especies diferentes en la misma unidad taxonómica. Se recomienda verificar, al menos en los

casos de duda, la identificación taxonómica de los árboles, esto es relativamente fácil en vista de que se conoce la ubicación de los individuos en el bosque y el experto concentrará su trabajo en estos casos únicamente. En términos generales se recomienda revisar la ortografía de los nombres científicos usados actualmente.

---

## SECCION II

### ESTANDARES PARA EL MONITOREO DE LA DINAMICA DEL BOSQUE NATURAL

---

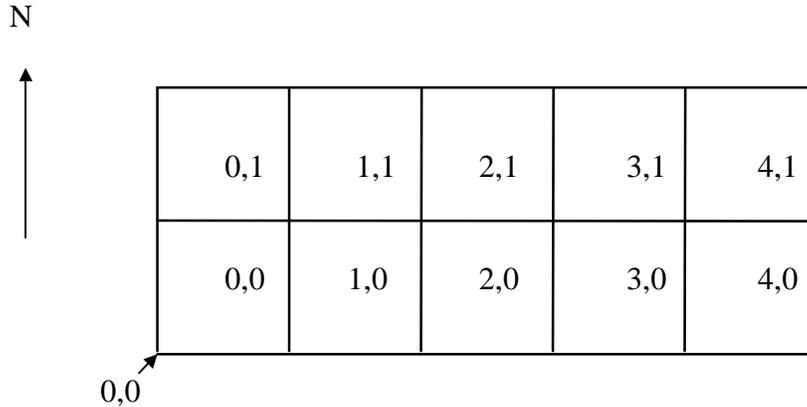
El flujo de información del monitoreo se inicia en el campo y termina cuando se ha utilizado la información. Para garantizar la calidad de la información se debe controlar cada uno de los pasos del proceso, tal como se esquematizó en la introducción de este informe. Deben seguirse procedimientos típicos, estándares, para disminuir los riesgos de error, capitalizar la experiencia en la aplicación de las operaciones y facilitar el control de calidad.

Para establecer los procedimientos o estándares, para el monitoreo se debe comenzar por fijar los objetivos, en este caso se asume que el objetivo principal es obtener la información sobre crecimiento y dinámica del bosque necesarios para planificar el manejo del bosque a nivel de unidad de manejo y para orientar la política de manejo forestal a nivel nacional o regional.

#### **A. Las Parcelas Permanentes**

El IFC presenta varias modalidades, de acuerdo con las condiciones de manejo y los objetivos. Una es la combinación de parcelas temporales y permanentes en inventarios consecutivos, en los que se demarcan permanentemente un cierto porcentaje de las parcelas. La información de las parcelas permanentes, combinada con la de las parcelas temporales, permite establecer comparaciones precisas del estado del bosque en los diferentes momentos en que se evalúa. La combinación de la información de inventarios consecutivos con la de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM), establecidas en el mismo bosque, también permite evaluar satisfactoriamente la dinámica del bosque. Estas alternativas son apropiadas en situaciones de manejo intenso, en las que el objetivo del IFC son la evaluación del comportamiento del bosque.

Tal como se mencionó en la parte de análisis y evaluación de los métodos de monitoreo, el tamaño y forma de las PPM no es tan importante como la observancia de los procedimientos estandarizados, a lo largo de todo el flujo de información. Uno de los requisitos indispensables es que las parcelas se dividen en cuadrados de 10 x 10 m. Para identificar las subparcelas o cuadrados, la parcela se analiza como un plano cartesiano en el que la distancia en decímetros, de diez en diez metros, a partir del origen, esquina Sudeste de la parcela, y hasta la esquina sudoeste del respectivo cuadrado, tanto en **X** como en **Y**, formando los pares ordenados que identificarán al cuadrado y a los árboles que se encuentran dentro de él, tal como se indica en el esquema.



Para identificar cada parcela a nivel de registro y archivo se sugiere asignar un código alfanumérico en el que se indique la región o reserva forestal, la concesión o unidad de manejo y el número consecutivo dentro de la unidad de manejo.

Para delimitar e identificar las parcelas en el campo se recomienda ubicar una estaca de madera en cada esquina, es posible que el almendrillo (*Dipteryx alata*) sea la especie más recomendable, en Costa Rica, en condiciones de bosque muy húmedo tropical, estacas de *D. panamensis* usadas para demarcar parcelas se mantienen bien conservadas cinco años después de puestas en el campo, se recomienda usar madera por ser un material biodegradable. Las estacas pueden ser de cuatro centímetros de lado y dos metros de largo, enterradas hasta la mitad, si el suelo lo permite y pintadas de un color llamativo, en la estaca se anota, con marcador “Pilot”, el número de parcela y la identificación del proyecto.

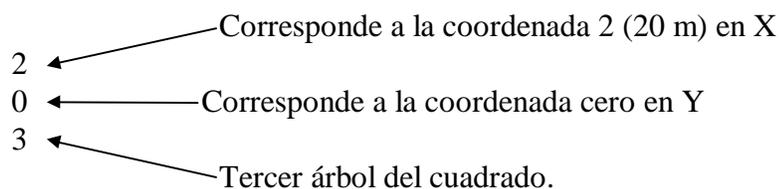
## B. Número de Parcelas

El número de parcelas dependerá de los recursos disponibles y de los objetivos del monitoreo. La variabilidad que experimenta el crecimiento en el tiempo es mayor que la observada entre los diferentes sitios. Cuando se define un SPPM no se conoce la variabilidad del crecimiento que se observará de un año a otro, pero al repetir las mediciones por varios períodos se tendrán las muestras suficientes para reducir el error de muestreo correspondiente a la variabilidad en el tiempo. Queda entonces reducir el error de muestreo atribuible a las diferencias en el sitio, por lo tanto, se debe determinar el número y tamaño de las muestras para que el error de muestreo no sobrepase un porcentaje aceptable que puede ser del 20%, se sugiere utilizar el área basal por parcela para determinar el porcentaje de error.

## C. Identificación de los Árboles

Todos y cada uno de los árboles dentro de una PPM deben poseer un identificador y ninguno puede repetirse en ningún momento ya que en la base de datos la unidad de información es el árbol.

Para identificar cada árbol se deben usar tres dígitos, los dos primeros siempre corresponden al par ordenado que identifica a la subparcela en el orden **X, Y** y el siguiente dígito corresponde al número consecutivo del árbol dentro de la subparcela, de esta forma cada árbol en el campo, en la libreta y en el archivo correspondiente, tiene la información de la ubicación dentro de la parcela en el que se encuentra. Se pueden pintar los números en forma vertical, siempre de frente a la brecha central o a un punto cardinal determinado. Si un árbol muere no se usará su número en ningún otro árbol que ingrese después. En caso de que en una subparcela haya más de diez árboles el número de identificación será de cuatro dígitos pero siempre los dos primeros corresponderán a las coordenadas que identifican al cuadrado correspondiente. A manera de ejemplo, el identificador del tercer árbol ubicado en la tercera subparcela a la derecha de la brecha central (subparcela 5 según el esquema en Claros y Licona, 1995) será:



Esta nomenclatura se puede aplicar a parcelas de diferente tamaño y forma por lo que es propicia para SPPM en los que se usen diferentes tipos de parcelas.

#### **D. Marcación de los Árboles**

Uno de los aspectos de mayor importancia es la marcación del punto de medición a altura de pecho, 1,3 m sobre el suelo, esto se debe hacer en el momento en el que se pinta el código del árbol, se sugiere contar con un cepillo de fibra vegetal o plástico suave, para limpiar el área del fuste que será pintada, la medición se hace una vez que la pintura esté seca. En el caso de árboles con deformaciones a la altura de pecho, se procede a definir un punto de medición a mayor altura, estos casos se deben indicar en el registro para poder identificarlos a la hora de realizar el análisis de la información. Si el árbol presenta una bifurcación bajo el punto de medición se registrará como dos árboles, asignándole un número a cada uno.

Se debe definir el diámetro mínimo de medición de los árboles, se sugiere que sea 10 cm. En el caso de parcelas para la evaluación de determinados tratamientos o para el monitoreo de la regeneración en una determinada área se recomienda manejar en forma separada la información para evitar problemas en la interpretación de los resultados.

#### **E. Programa de Mediciones**

En el SPPM se debe definir un calendario de mediciones de manera que cada parcela se mida aproximadamente en la misma semana del año de manera que el incremento medido corresponda al periodo de un año, si no es posible se debe ajustar el incremento para referirlo al año. En cada medición hay riesgo de error por lo que el período entre mediciones debe permitir que el incremento sea mayor que el error de medición y que no se hayan perdido las marcas y se

imposibilite la ubicación de la parcela y los árboles, también hay que tomar en cuenta la urgencia de tener información preliminar.

El crecimiento responde a una serie de factores, indicados en el modelo lineal aditivo presentado en la parte de métodos básicos de procesamiento de la información, estas fuentes de variación determinan que los incrementos varíen de un año a otro, por esto es necesario repetir las mediciones en diferentes años para estimar un incremento promedio que representa el comportamiento general de los diferentes árboles, especies y tipos de bosque en estudio. En la programación a mediano plazo se debe definir no solo la distribución anual de las mediciones, sino también la frecuencia con que se miden las diferentes parcelas.

## **F. Variables**

Las variables que se levantan en el campo en un SPPM pertenecen a dos grupos, las genéricas, referentes a la parcela o sitio y las específicas, individuales de cada árbol, cada una de ellas pretende explicar, al menos una parte, de la variabilidad del incremento.

Entre las variables genéricas se destacan:

- tamaño y forma de la parcela
- ubicación geográfica
- tipo de bosque
- zona de vida
- posición fisiográfica
- topografía de la parcela
- en caso de bosques intervenidos, el promedio de área basal extraída por hectárea.

Se pueden derivar variables genéricas a partir, tanto de información genérica como de la específica. Entre estas variables derivadas se puede mencionar:

- índice de complejidad
- área basal por hectárea
- probabilidad de que dos árboles sean de la misma especie
- altura dominante y media del rodal

Las principales variables individuales, correspondientes a cada árbol son:

- especie
- ubicación dentro de la subparcela (azimuth del árbol a las esquinas del cuadrado)
- diámetro
- altura total
- altura del punto de inversión morfológica, donde se inserta la rama gruesa más baja
- posición de copa

- calidad de copa
- diámetro de copa
- infestación de trepadoras

Dependiendo de los objetivos específicos del monitoreo se pueden levantar otras variables o bien omitir alguna que se considere que explicara muy poco de la variabilidad o que no es necesario levantar en cada oportunidad por la baja precisión propia de su medición, como por ejemplo la altura total. El levantamiento de las diferentes variables corresponde con los métodos dasométricos conocidos, como obra de consulta se recomienda el Manual de Procedimientos en Parcelas Permanentes de Synnott (1991).

## **G. Precisión**

La utilidad de la información del SPPM depende de la precisión de las mediciones de campo, en el caso del diámetro, debe corresponder al milímetro cumplido, se enfatiza que el nivel de precisión es el milímetro, se recomienda que tanto la lectura como las anotaciones se hagan en milímetros. El instrumento de medición debe ser la cinta diamétrica, graduada en milímetros, la cinta debe ser de fibra de vidrio o metal para mantener sus dimensiones, una vez que la cinta experimente algún grado de deformación se debe desechar ya que es más caro invertir en una medición inútil que adquirir una cinta por parcela de una hectárea por medición. En las anotaciones no son aceptables las medidas de fracción de milímetro. En el trabajo de campo se debe lograr un equilibrio entre la eficiencia y precisión del personal y sobre todo un alto nivel de responsabilidad y honestidad. Se recomienda identificar un grupo de personas que posean habilidades para este tipo de trabajo y darles capacitación y estímulo para incrementar su excelencia.

La medición y anotación requieren especial atención y concentración por lo que se deben evitar distractores como los radios portátiles por, ejemplo. En un inventario convencional un anotador puede registrar satisfactoriamente las mediciones que le dicten dos personas midiendo simultáneamente, en el caso de PPM el anotador y el encargado de medir deben controlar mutuamente su trabajo, es recomendable que el anotador repita el número recién registrado y que el medidor esté atento para verificarlo. El anotador debe estar frente al medidor para verificar la correcta posición de la cinta.

## **H. Control de Errores de Medición**

Entre las medidas para evitar errores de medición y de anotación en el campo, a partir de la segunda medición, se recomienda llevar al campo un listado con la información de la medición anterior, esto permita verificar si la lectura actual es coherente con la anotación anterior o si, por el contrario, se debe averiguar si se trata del mismo árbol, o si hubo un error en la lectura o bien, si hubo un error en la oportunidad anterior, en este caso se indicará para depurar el archivo a la hora de efectuar análisis. Al terminar cada cuadrado la primera medida de control es contar los árboles marcados en el cuadrado, para verificar que no faltan árboles ni se han anotado incorrectamente árboles de cuadrados vecinos, no se debe iniciar el levantamiento de un árbol o

cuadrado sin haber concluido el del anterior. Estos cuidados corresponden al primer momento del flujo de información esquematizado en la introducción de este informe.

## **I. Control de Errores de Anotación y Digitación**

Estas observaciones corresponden a los pasos dos, cuatro y cinco del flujo de información. Al finalizar cada día se debe hacer una revisión de las libretas de campo para asegurarse de que no hayan errores de anotación ni información irregular, diámetros exagerados por ejemplo. Se debe verificar y corregir la información de la libreta frente al árbol, por ningún motivo se debe modificar información de libretas en la oficina.

A la hora de digitar se debe controlar la fidelidad de la información, existen programas para detectar información fuera de la tendencia esperada. Una vez digitada la información de cada parcela se debe listar, con un formato equivalente al de la libreta, para que una persona, diferente a la que digita, confronte el listado del archivo con la libreta. Es posible que se tenga que repetir el proceso hasta no encontrar errores, cada vez es más difícil encontrarlos pero podrían estar ocultos para los ojos del revisor por lo que es prudente que diferentes personas revisen la información.

Los pasos del seis al ocho del flujo de información se aplican en los casos de la segunda medición y las sucesivas, una vez hechas las correcciones se recomienda plotear los incrementos contra el diámetro de la primera medición, esto permite identificar los casos que se salen de la tendencia esperada. Se puede fijar un máximo y un mínimo de incremento aceptable, en función del promedio observado, por ejemplo, se deben investigar los casos en los que el incremento sea de más de cuatro veces el promedio. Se debe ir a la libreta para verificar que no hay un error de digitación, es posible que no se encuentre errores en vista de que ya se ha revisado las libretas en, al menos dos oportunidades. La verificación entonces se hace en el campo, esto es caro y si ha transcurrido algún tiempo no se puede cambiar la información de la libreta en vista de que la nueva lectura no corresponderá con la fecha del resto de la información. En caso de identificarse el error se hace la corrección, caso contrario se mantiene la información aunque se considere anormal. En este momento se llega al punto noveno del flujo de información y no se debe hacer ninguna modificación al archivo, debe haber un respaldo que no sufra ningún tipo de modificación, punto diez en el esquema. La fidelidad del archivo, punto nueve, es la garantía de la honestidad del SPPM.

Se deben hacer copias fieles del archivo para análisis. En el análisis se puede excluir casos de los que se sospecha exista error, la decisión de eliminar casos se debe justificar y por ningún motivo debe obedecer al afán de incrementar el porcentaje de la variabilidad explicada por el modelo,  $r^2$ . Por ningún motivo se pueden hacer correcciones.

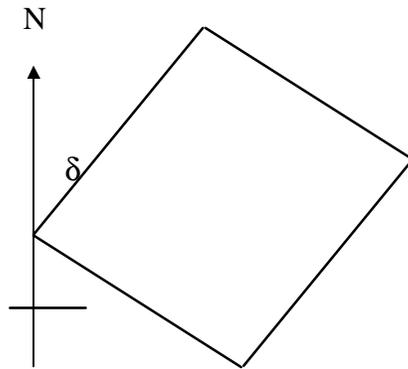
---

**SECCION III**  
**METODOS BASICOS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACION DE PPMs**

---

**A. Ubicación y Mapeo de los Arboles**

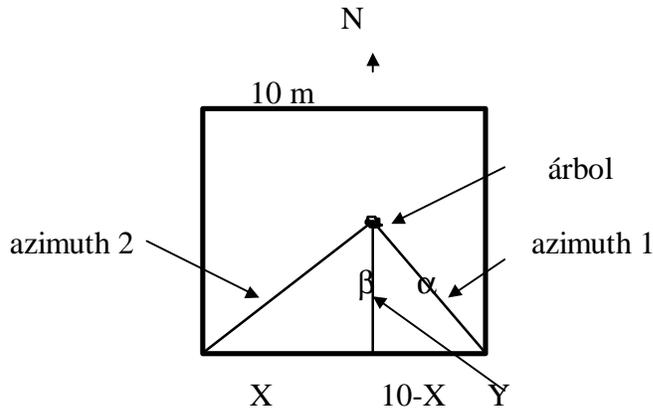
La ubicación y mapeo de los árboles en las parcelas es necesaria para facilitar su ubicación en mediciones futuras y como información básica para determinar eventualmente índices de competencia individual y estudiar patrones de distribución de las diferentes especies. La ubicación se hace siguiendo el concepto de plano cartesiano presentado en el aparte de estándares para el monitoreo de la dinámica del bosque natural. Se suponen que las parcelas están divididas en cuadrados de 10 x 10 m y orientadas con rumbos francos, en los casos de parcelas con una orientación diferente se hace un ajuste en los rumbos que permiten ubicar los árboles. Para hacer este ajuste se determina la desviación del lado izquierdo de la parcela, vista desde el sur, respecto al norte franco, ángulo  $\delta$ , como se indica de seguido.



Para determinar la ubicación de los árboles en parcelas orientadas con rumbos francos, se levanta los azimuth desde cada árbol hacia cada una de las esquinas del lado sur del cuadrado, como se indica en el siguiente esquema. En el caso de parcelas que no están alineadas con rumbos francos se debe hacer una corrección de las lecturas de estos azimuth, esta corrección consiste en restar el ángulo de desviación de la orientación de la parcela,  $\delta$ , a cada azimuth.

En el siguiente esquema se indica, desde el árbol en estudio, los azimuth 1 y 2, así como la distancia Y, perpendicular desde el árbol hasta el lado sur del cuadrado. Se definen dos triángulos rectángulos imaginarios con un cateto común, Y. Los otros catetos, opuestos a los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  corresponden a X y 10-X respectivamente, en virtud de que el lado del cuadrado es de 10 m.

El azimuth 1 se ubica en el segundo cuadrante, esto quiere decir que es mayor que  $90^\circ$  y menor que  $180^\circ$ , por su parte el azimuth 2 está comprendido entre los  $180^\circ$  y los  $270^\circ$ .



El ángulo  $\alpha$  se determina como  $180 - \text{azimuth 1}$ , mientras que el ángulo  $\beta$  corresponde a  $\text{azimuth 2} - 180$ . Una vez que se conocen los ángulos el despeje de las distancias X e Y se hace mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{tang } \beta = \frac{X}{Y}$$

$$\text{tang } \alpha = \frac{10-X}{Y}$$

Al despejar Y en cada ecuación es posible establecer la ecuación:

$$\frac{X}{\tan \beta} = \frac{10-X}{\tan \alpha}$$

de donde se tiene que:

$$X = \frac{10 \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta}$$

Sustituyendo el valor de X en cualquiera de las dos primeras ecuaciones se tiene el valor de Y, esto define la ubicación del árbol dentro del cuadrado, para determinar la ubicación respecto a la parcela se suma las distancias correspondientes en el plano cartesiano desde el origen, esquina sudoeste, hasta la esquina correspondiente del cuadrado, en el aparte de estándares para el monitoreo de la dinámica del bosque natural se indica que estas distancias, tanto en X como en Y, expresadas en decámetros, corresponden con los dos primeros dígitos del número de cada árbol.

Una vez determinadas las coordenadas de cada árbol se puede emplear un programa para construir planos para hacer el mapa de cada parcela, se sugiere SURFER de Golden Software que permite combinar esta información con la de topografía de la parcela.

## B. Crecimiento

El crecimiento es el cambio de dimensión de un organismo en el tiempo, el incremento es la magnitud del cambio. Los modelos de crecimiento son ecuaciones que describen el incremento experimentado por los individuos de una determinada población en función de una determinada variable independiente o explicativa. Existen parámetros que describen el comportamiento del incremento y que están determinados por las condiciones particulares de cada población, por esto se denominan parámetros poblacionales y se representan con letras griegas, como no se conocen los parámetros los estimamos, aunque con cierto grado de incertidumbre. Se identifican cinco grupos de factores que determinan el incremento en una población: genéticos (G), ambientales (A), de vigor (V), de competencia (C) y de edad (E), que en el caso de los árboles se asocia con su dimensión, DAP. El principio del modelo lineal aditivo supone que todos los individuos presentan el mismo incremento promedio que corresponde al parámetro  $\mu$ , este promedio se ve modificado, para cada individuo, por el efecto aditivo de los diferentes factores y por el parámetro error  $\epsilon$ , distribuido normalmente, con media cero y varianza constante, en este caso la palabra error no significa equivocación sino desviación respecto a  $\mu$ . Se puede representar este modelo de la siguiente forma:

$$ICA = \mu + G + A + V + C + E + \epsilon$$

Al analizar el incremento se procura remover algunos de los efectos, por ejemplo se analizan por separado grupos de especies, o información de diferentes tipos de bosque o grupos de individuos sometidos a diferentes regímenes de competencia. Los efectos de los factores que no se pueden remover se confunden con el error. Al ajustar una ecuación lo que se hace es estimar los parámetros que describen el incremento, el modelo explica una parte de la variación observada en la población, el porcentaje de la variación explicada lo expresa el coeficiente de regresión elevado al cuadrado,  $r^2$ , el resto de la variabilidad se atribuye al error.

## C. Ecuación de Incremento Corriente Anual ICA

Para determinar la ecuación que describe el comportamiento de los incrementos se usa el método de los mínimos cuadrados, análisis de regresión. El objetivo del procesamiento de la información es preparar los archivos para hacer el análisis de regresión, este se hace con la aplicación de algún paquete estadístico, SYSTAT, por ejemplo.

La ecuación general que se usa para describir el ICA es una modificación de la ecuación planteada por von Vertalanffy (del Valle, 1986). En esta ecuación el ICA se explica en función de la dimensión del árbol.

$$ICA = Ad + Bd^{0,67}$$

Donde:

ICA es el incremento en un año, variable dependiente,

d es el diámetro del árbol, variable independiente,

A y B son parámetros relacionados con el volumen y la superficie del árbol respectivamente. A es menor que cero, mientras que B lo es mayor,

**0,67** es la potencia que propone von Bertalanffy para relacionar la dimensión del organismo con su superficie.

Para la creación de los archivos, uno por parcela, en el que cada árbol es un caso y ocupa un renglón, se sugiere usar una hoja electrónica como Quatro. Estos programas permiten generar variables derivadas a partir de información de campo, por ejemplo el incremento anual, las coordenadas X e Y de cada árbol dentro de la parcela, o índices de competencia o de daño. Una vez definidas las variables se traslada la información a un programa que maneja bases de datos, Fox o Dbase, por ejemplo. En este programa se guarda el archivo, paso 10 en el flujo de información que se presenta en la introducción de este informe.

#### **D. Periodo del Incremento**

La base para determinar el incremento es el año, se parte del supuesto de que este período comprende la variación climática del sitio y que también comprende la variación fisiológica de los árboles, a pesar de que se tiene evidencia de que hay diferencias tanto climáticas como fisiológicas de un año a otro. Para referir el incremento a un año se divide el incremento observado entre el periodo entre mediciones, este periodo se expresa en fracción decimal usando la tabla correspondiente que aparece en el Manual de Procedimientos en Parcelas Permanentes de Synnott (1991). El ICA es la diferencia entre el diámetro de la segunda medición menos el de la primera dividida entre el período en fracción decimal. Para efectos de análisis a partir de este punto en adelante se usa únicamente el diámetro anterior y el ICA.

#### **E. Dispersión de la Información**

A pesar de las medidas tomadas para evitar errores, siempre se presenta una amplia dispersión en la población de incrementos, esta se puede deber a errores que no se han controlado o a crecimientos anormales. En la Figura 1 se presenta la distribución de los incrementos por diámetro para 1902 casos en Las Trancas, Lomerío.

Es muy útil usar este tipo de gráfico para identificar la dispersión de la información, en Quatro se manejan tres columnas una con la primera medición del diámetro, la segunda corresponde al diámetro elevado a la potencia 0,67 y la tercera es el ICA. Para construir el gráfico se “sortea” la información por diámetro y se grafica en el estilo XY.

Para evitar una dispersión muy amplia en el análisis, nunca en el archivo madre, se eliminan los casos evidentemente salidos de la tendencia.

Para evitar distorsiones Sheil (1995) analiza los porcentajes del 5% de incrementos mayores y menores por separado del 90% de los casos, esto permite evitar problemas al interpretar la información. Para eliminar los registros con incrementos extremos se “sortea” por incremento de manera que al principio y al final del archivo se encuentran los casos extremos. Cada decisión de eliminar casos se debe justificar y por ningún motivo debe obedecer al afán de incrementar el porcentaje de la variabilidad explicada por el modelo,  $r^2$ .

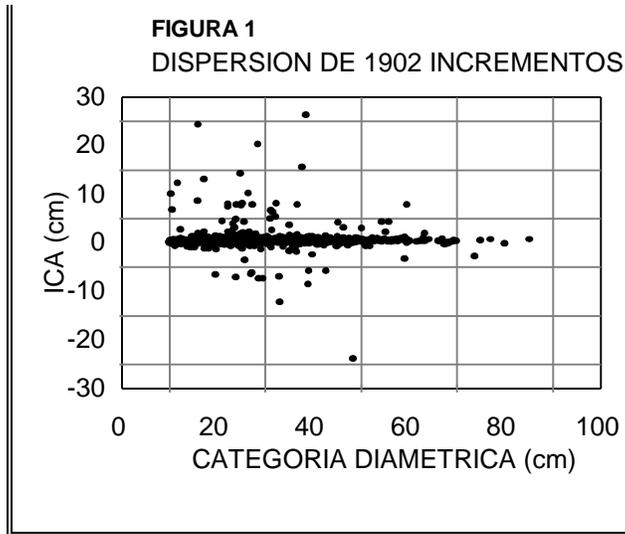
#### F. Efecto de otros Factores

En la ecuación para explicar el incremento se usa la dimensión del árbol, diámetro, como variable independiente. Se sabe que existen otros factores que aportan variabilidad a los incrementos, como son la especie, el sitio, el vigor, entre otros. Para atender objetivos específicos se puede sectorizar el análisis de la información. Para esto se generan archivos en los que, por ejemplo, se agrupan únicamente los casos correspondientes a una especie, grupo de especies o tipo de bosque.

Una de las variables evaluadas en las PPM es la posición de copa, tal como lo indica Synnott (1991), para evaluar la respuesta de los árboles ante diferentes situaciones de acceso a la luz, se sugiere agrupar en un archivo los casos en los que las posiciones de copa tengan mayor disponibilidad de radiación, posiciones 5, 4 y 3. En otro archivo los casos con limitado acceso a la radiación, posiciones de copa 2 y 1. Cada archivo se analiza por separado obteniéndose los parámetros que describe el incremento en cada situación.

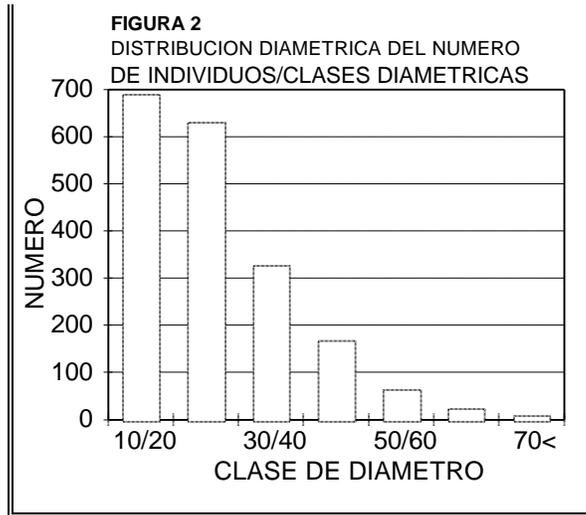
#### G. Tiempos de Paso

En algunas oportunidades la distribución diamétrica de los árboles presenta una concentración anormal en determinadas categorías, por lo general las menores, por otra parte en los bosques en los que se ha aplicado una operación de cosecha se ha reducido el número de los árboles de mayores dimensiones por lo que se acentúa el desbalance en la distribución de



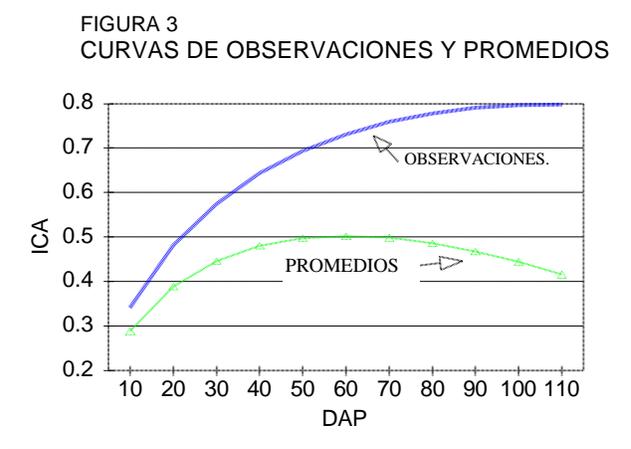
individuos. En la Figura 2 se presenta la distribución diamétrica de los árboles en un bosque, después del aprovechamiento.

En el método de los mínimos cuadrados se determina la recta que pasa más cerca de cada observación, esto se determina sumando la diferencia, al cuadrado, entre el valor de cada observación y el de la recta o modelo teórico (Steel y Torrie, 1980). Al presentarse una desproporción grande entre el número de individuos pequeños respecto al de los grandes, la recta se inclina de manera que se minimiza la suma de cuadrados de muchas diferencias, aún a costas de tener un pequeño número de diferencias grandes.



Para corregir esta distorsión se sugiere calcular el promedio de diámetro y de incremento de cada categoría de manera que se pueda ajustar una curva que corresponda con la tendencia de la población pero en la que el número de observaciones es igual en cada categoría de tamaño. Este procedimiento corresponde al método de los tiempos de paso, tal como lo explica Del Valle, (1979).

En la Figura 3 se presenta, con línea gruesa, la curva ajustada a partir de las 1703 observaciones de campo y en la línea con marcadores, la que corresponde a los promedios de diámetro e incremento de las siete categorías en las que se observaron árboles. Los indicadores estadísticos de los ajustes se encuentran en el Anexo 1.



Para verificar la bondad de ajuste y la validez del modelo derivado se puede analizar la distribución de los residuos respecto al diámetro, en el caso de ecuación ajustada a partir de las observaciones de campo no presentará una distribución aceptable.

## H. Aplicaciones de la Información

Una de las aplicaciones que se puede hacer de la información de crecimiento, en el manejo forestal es la simulación del crecimiento de los árboles. Existen varios programas para modelar el comportamiento de un rodal asumiendo ciertas condiciones de partida, entre ellas la

estructura, la tasa de crecimiento, la mortalidad etc. En vista de la necesidad de contar con criterios técnicos para la definición de ciclos de corta, se ha desarrollado una hoja de cálculo, TUNEL1.WB1, que determina el crecimiento del volumen actual, correspondiente a los árboles sobre un determinado diámetro de corta. Uno de los aspectos a tomar encuentra en la definición del ciclo de corta es el tiempo necesario para que el crecimiento iguale al volumen aprovechado, se hace énfasis en que este es uno de los factores a considerar ya que otros como la composición de especies, el establecimiento de la regeneración de determinadas especies o el equilibrio del ciclo de nutrimentos pueden obligar a incrementar los ciclos.

TUNEL1 se diseñó como una herramienta de planificación del manejo, para armonizar la intensidad de aprovechamiento y el ciclo de corta, la información de entrada proviene del inventario forestal, corresponde con los diámetros de los árboles de las especies que se propone aprovechar. TUNEL1 también toma en cuenta la mortalidad esperada, en función de la intensidad y del nivel de planificación y cuidado en la cosecha. La intensidad es definida por el Diámetro Mínimo de Corta Ponderado (DMC/P), este es el promedio del diámetro de corta por especie, ponderado de acuerdo con el número de individuos que se aprovechará en cada especie. Entre mayor es el DMC/P menor es la intensidad ya que se cortarán únicamente los árboles más grandes dejándose los de menor diámetro en pie. En el informe de consultoría sobre Tratamientos Silviculturales se incluye la hoja de cálculo COSECHA.WB!, que determina entre otros el DMC/P.

TUNEL1 se desarrolló en el programa Quatro Pro para Windows, consta de cuatro bloques de celdas, uno de ellos interactivo y tres operativos. En el bloque interactivo las celdas en las que se introduce información aparecen sombreadas, el bloque presenta el aspecto que se muestra en el siguiente esquema:

Para el uso de la hoja se recomienda como primer paso salvar con un nombre diferente, alusivo a la unidad de manejo en estudio, esta previsión permite tener siempre la hoja sin alteraciones y lista para un nuevo análisis

La columna A se reserva para indicar el identificador del caso que se está analizando, el nombre de la unidad de manejo y tipo de bosque, por ejemplo. En la celda D2 se indica el área de la muestra del inventario, en hectáreas, en la celda D5 se indica el DMC/P, si no se tiene esta información se puede proponer un diámetro comúnmente usado como DMC.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID:	ÁREA DE						AÑO
2		MUESTRA	HAS	1				DAP
3								
4		VOL. COSECHA	m3	0.00				
5		DC/P	cm	67.28				
6								
7			% MORT	VOL	VOL	VOL	INCREM	
8		AÑO	ANUAL	TEÓRICO	REAL	ACTUAL	VOL ACT	
9		0	0.15	0.00	0.00	0.00	N/A	
10		5	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	
11		10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	
12		15	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00	
13		20	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
14		25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
15		30	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
16		35	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
17		40	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
18		45	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
19		50	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	

En la celda C9 se indica el porcentaje de mortalidad esperado en la cosecha, esto es el porcentaje de los árboles quebrados y muy severamente dañados en el momento de la cosecha. El aprovechamiento provoca una mortalidad que se estima entre el 10 y el 25 % de la masa dependiendo de la intensidad y de la planificación de la operación. En la celda C10 se indica el porcentaje anual de mortalidad esperado en los siguientes cinco años, por la experiencia en diferentes bosques tropicales en este periodo la mortalidad es del orden de 4 a 6% anual, una vez más dependiendo de la intensidad del aprovechamiento. La posibilidad de proponer diferentes porcentajes de mortalidad en la cosecha y en el primer quinquenio permite generar diferentes escenarios, en función de la intensidad y el nivel de tecnología que se aplique en el manejo. En las siguientes celdas de la misma columna hasta, C19 se indican los respectivos porcentajes de mortalidad para los respectivos períodos de cinco años estos porcentajes serán cada vez más parecidos a los observados en el bosque sin intervención que presenta mortalidades entre el 1 y el 1.5%, dependiendo del dinamismo del ecosistema.

Por la cantidad de fórmulas involucradas en la simulación la ejecución es lenta, por esto se recomienda indicar las variables requeridas, campos sombreados, antes de introducir el cuerpo de datos.

En la columna H, a partir de H2, se inserta la información de los diámetros, en centímetros, levantados en el inventario correspondientes a las especies que se van a aprovechar. La columna correspondiente a los diámetros se puede copiar (COPY) de un archivo y pegarla (PASTE) luego a partir de la celda H2 de TÚNEL. Una flecha hacia abajo indica que el largo de la columna continúa hasta abarcar toda la información.

Las celdas de salida en el bloque interactivo comprenden: D4 en la que aparece el volumen de cosecha para el inventario en estudio, de acuerdo con el DMC/P. Este dato es importante para comparar con la principal de las salidas, el incremento en volumen actual, columna G de G10 a G19, ya que cuando el volumen incrementado iguale al de la cosecha, se ha compensado el volumen aprovechado. La información que aparece en las columnas de D9 a D19, volumen teórico, y de E9 a E19, volumen real, no tienen mayor valor ya que la primera no se contempla la mortalidad y en el segunda no hay información de ingresos, la interpretación de la información puede conducir a error, la información de estas columnas se usa en el cálculo del volumen actual. El volumen actual, de F9 a F19, corresponde con el volumen de los árboles con DAP mayor al DMC/P en cada periodo de cinco años, en este caso se toma en cuenta la mortalidad y el ingreso de los árboles, que con el tiempo han alcanzado el límite inferior definido, esta situación se ilustrará al presentar los bloques operativos.

El primero de los bloques operativos determina el diámetro de los árboles cada año en un periodo de 50 años. La columna en la que se inserta la información de diámetros corresponde con el año cero, en el primer renglón, a partir de H1 aparece el año correspondiente a la respectiva columna. Cada año el diámetro se calcula como la celda anterior, izquierda, más el incremento correspondiente a ese diámetro, por ejemplo el diámetro del primer árbol en el año 1 aparece en la celda I2. Para ilustrar el aspecto del bloque se proponen cinco árboles de diferentes diámetros, uno sobre el DMC/P, en este caso 60 cm, y otro cercano a este diámetro, 57 cm, tal como se muestra a continuación.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8
2	DAP	35.	35.466	35.933	36.402	36.873	37.3453	37.8186	38.2933	38.7693
3		57.	57.502	58.004	58.506	59.009	59.5119	60.0145	60.5171	61.0197
4		28.	28.437	28.877	29.319	29.763	30.2093	30.6572	31.1070	31.5586
5		68.	68.499	68.999	69.498	69.996	70.4952	70.9931	71.4905	71.9874
6		48.	48.495	48.990	49.487	49.984	50.4818	50.9798	51.4783	51.9773

Este primer bloque operacional comprende 50 columnas que van desde la I hasta BF, el largo de las columnas depende del número de registros que comprenda el archivo del inventario. En el renglón 1 aparece el año correspondiente.

El segundo bloque consta de diez columnas de la BH hasta la BR, las celdas de estas contienen el cuadrado del diámetro proyectado cada cinco años. En la primera columna aparece el cuadrado de los diámetros de la columna H. En la segunda columna y sucesivas, se evalúa la información de los diámetros del inventario, año cero, si este excede el DMC/P asume que será aprovechado y se asigna cero al valor de la celda, caso contrario se asigna el cuadrado del diámetro correspondiente a la columna de los años cinco, diez, quince y sucesivos quinquenios según aparecen en el renglón 1. Siguiendo el ejemplo presentado en el primer bloque tenemos:

	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN
1	0	5	10	15	20	25	30
2	1225	1394.67	1578.08	1775.36	1986.57	2211.71	2550.16
3	3249	3541.67	3847.07	4164.84	4494.59	4835.87	5332.17
4	784	912.605	1054.13	1208.93	1377.25	1559.29	1837.46
5	4624	0	0	0	0	0	0
6	2304	2548.41	2806.50	3078.07	3362.87	3660.60	4098.50

Nótese que en el cuarto caso, renglón 5, aparece el cuadrado del diámetro inicial, celda BH5 y en los restantes cero en vista de que este árbol sobrepasaba el DMC/P al momento del inventario y se asume que será cosechado. En los restantes casos aparece el cuadrado del diámetro correspondiente a cada quinquenio.

En el tercer bloque aparecen los cuadrados de los diámetros de los árboles que han sobrepasado el DMC/P, tal como se observa de seguido.

	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB
1	0	5	10	15	20	25	30	35	40
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3847.07	4164.84	4494.59	4835.87	5332.17	5551.18	5924.21
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4624	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	3660.60	4098.50	4293.48	4627.83

El caso del renglón 3 alcanza un diámetro superior al DMC/P 10 años después mientras que el del renglón 6 lo hace para el año 25. En el renglón 5 el árbol sobrepasa el DMC/P desde el inventario por lo que se asume que es cosechado.

## H1. Uso

La hoja electrónica TUNEL1.WB1 ocupa 2.25 MB por lo que es necesario comprimirla para su difusión. El archivo comprimido, TUNEL1.ZIP se presenta acompañado del archivo ejecutable PKUNZIP.EXE. Estos dos archivos se deben copiar en el disco duro y para descomprimir, en ambiente DOS, se entra (ENTER) la instrucción: PKUNZIP TUNEL1.ZIP, el nombre del archivo comprimido está separado por un espacio. Una vez descomprimido el archivo TUNEL1.WB1 se abre en el ambiente del programa Quatro para Windows.

Como se indicó antes, se recomienda salvar el archivo con un nombre diferente antes de hacer ninguna modificación.

El archivo de datos consiste en una columna de diámetros, en centímetros, correspondientes al inventario de las especies que se propone aprovechar, si se incluyen en el análisis especies que no se aprovechan la interpretación de la información puede ser errónea en

---

(Nota de Edición): BOLFORD ha desarrollado un Sistema Computarizado de Procesamiento y Análisis de Inventarios Forestales en el cual se incluye un programa denominado "Crecimiento de Volumen Actual, TUNEL" en el cual únicamente deben incluirse los parámetros a, b, y c de la siguiente fórmula:  $ICA = -a * dap + b * cap^c$ . Estos parámetros se encuentran en una tabla que se proporciona con el Sistema a partir de la versión 1.1.

vista de que en la cosecha simulada hay más individuos aportando volumen que lo real por lo que distorsiona la estimación del ciclo de corta. Esta columna se inserta a partir de la celda H2

La hoja está diseñada para un archivo de 900 árboles, si la base de datos es mayor, es necesario desproteger algunas celdas y realizar cambios en su fórmula. En cada caso lo necesario es sustituir el renglón hasta donde se hace la suma que actualmente es 903, por el número del último renglón correspondiente al archivo que se desea analizar, columna H. Este cambio se debe hacer en la celda correspondiente a la cosecha, D4, así mismo en las celdas de la columna correspondiente al volumen teórico, de D9 a D19, de igual manera en la columna del volumen actual, F9 a F19. En las fórmulas que se presentan a continuación se pueden observar los casos en los que se suma diámetros elevados al cuadrado que es en los que se hace la modificación indicada.

Para la ejecución se sombrea el renglón que va de H2 a CD2, se copia (COPY). Se sombrea la columna I, desde I2 hasta el renglón final del archivo de datos, entonces se pega (PASTE) la fórmula. En este momento se inicia el cálculo de sesenta celdas por renglón, el tiempo requerido dependerá del número de registros, pero de todos modos hay que esperar unos minutos para que se concluyan los cálculos.

## H2. Fórmulas

La fórmula para la celda correspondiente a la cosecha, D4, es:

$$@SUM(BT2..BT903)*7.854E-5*4.875/$D$2$$

Las celdas correspondientes al volumen teórico poseen la siguiente fórmula:

$$@SUM(BH2..BH903)*7.854E-5*4.875/$D$2$$

El volumen se calcula mediante la sumatoria de los cuadrados de los diámetros multiplicado por  $\pi/4$  y dividido entre 10000 para pasar el resultado de  $\text{cm}^2$  a  $\text{m}^2$ . Luego se multiplica por una altura promedio, ponderada a partir de varios inventarios diferentes, esta altura se ajusta por un factor de forma del 65%. Por último se divide entre el área de la muestra para referir el volumen a la hectárea. En este caso los cuadrados se leen en el segundo bloque.

El volumen real es un porcentaje del teórico, en el caso del año de la cosecha, celda E9, la fórmula es:

$$+D9*(1-C)$$

En el caso del volumen real en los restantes años, caso de la celda E10, la fórmula corresponde con:

$$+E9/D9*D10*(1-C10)^5$$

El volumen actual también se calcula mediante una suma de cuadrados de diámetros, en este caso leídos en el tercer bloque de manera que solo se encuentran los correspondientes a los árboles que han sobrepasado el DMC/P, la fórmula para la celda F9 es:

$$(@SUM(BT2..BT903)*7.854E-5*4.875/(\$D\$2))*E9/D9$$

El incremento del volumen actual no es más que el valor del volumen menos el volumen de la cosecha y responde a la siguiente fórmula:

$$+F10-D\$4$$

En el caso del primero de los bloques operativos, el diámetro de cada año corresponde al anterior más el ICA correspondiente a ese diámetro, la fórmula para la celda I2, por ejemplo, tiene la siguiente fórmula:

$$H2-0.017*H2+0,098*H2^0,67$$

En el segundo bloque en la primera columna, celda BH2, la fórmula es:

$$+H2^2$$

A partir de la segunda columna, correspondiente a los cuadrados de los diámetros de los árboles cada cinco años, después del inventario, la fórmula para la celda BI2 es:

$$@IF(\$H2<\$D\$5,M2^2,0)$$

Nótese que en la celda BH2 aparece el cuadrado correspondiente a la columna H mientras que en la celda de al lado, BI2, el cuadrado es el que corresponde al diámetro de la columna M, la quinta a partir de la H. Esta progresión se mantiene en las diferentes columnas del bloque por lo que no se puede copiar directamente la fórmula en las diferentes columnas. La evaluación, IF, determina si el árbol, en el momento del inventario excedía el DMC/P.

En el tercer bloque se evalúa si el diámetro, cada cinco años, es mayor al DMC/P, en cuyo caso se copia el cuadrado correspondiente del segundo bloque, la fórmula para la celda BT2 es:

$$@IF(H2>\$D\$5,BH2,0)$$

En el caso de la celda BU2 la evaluación, IF, corresponde al diámetro que aparece en la celda M2, una vez más cinco celdas después de la anterior, H2, en este caso tampoco se puede copiar la fórmula de una columna a la contigua.

---

**SECCION IV**  
**ANALISIS DE BASES DE INFORMACION Y DESARROLLO DE MODELOS DE**  
**CRECIMIENTO**

---

Con el objetivo de generar modelos preliminares de crecimiento para los diferentes tipos de bosque y especies, de los que proveen información las parcelas permanentes que ha establecido el proyecto hasta la fecha en Lomerío, Bajo Paraguá y El Choré, se analizó la información disponible.

La información levantada en El Choré se desechó, tal como se indica en la parte correspondiente al análisis y evaluación de los métodos para el monitoreo.

**A. Modelos en Oquiriquia**

En Oquiriquia se estudió la información del experimento que comprende tres niveles de liberación de bejucos en cuatro sitios. No hay evidencia significativa de que, a la fecha, el efecto del sitio o de los tratamientos determinen diferencias en las variables de respuesta evaluadas, según el análisis de varianza para los incrementos anuales en área basal y el promedio en área basimétrica. En ambos casos la probabilidad de encontrar un valor de F mayor al calculado es mayor al 10%, Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Análisis de varianza para el incremento en área basal.

FV	GL	SC	CM	F	P: F>
TRAT	2.00	2533.68	1266.84	0.10	<10%
SITIO	3.00	14003.39	4667.80	0.36	<10%
ERROR	6.00	78382.25	13063.7		
			1		
TOTAL	11.00	94919.33			

Cuadro 2. Análisis de varianza para el promedio del incremento en área basimétrica.

FV	GL	SC	CM	F	P: F>
TRAT	2.00	1.58	0.79	0.10	<10%
SITIO	3.00	8.75	2.92	0.36	<10%
ERROR	6.00	48.99	8.16		
TOTAL	11.00	59.32			

Al no encontrarse diferencias atribuibles a los factores que se controlan en el experimento se estimaron los parámetros que describen el comportamiento del incremento respecto a la dimensión del árbol. El archivo correspondiente al experimento contiene 481 registros, de los que se eliminaron aquellos registros correspondientes a los árboles que murieron entre la primera y segunda medición y a los que presentaron incrementos anormales, el análisis se hizo con 475

casos. El comportamiento descrito corresponde a una población muy reducida y con restricciones de muestreo, dadas por el diseño del experimento, por este motivo el modelo es aplicable únicamente a la población del ensayo. Si en el futuro se identificaran diferencias entre tratamientos sería interesante analizar las diferencias entre las ecuaciones correspondientes a los diferentes tratamientos.

En la Figura 4 se observa el comportamiento del Incremento Corriente Anual, ICA, respecto al diámetro y los parámetros estimados que describen el modelo, en el Anexo 1 se presentan los indicadores estadísticos correspondientes al análisis de regresión.

Por las restricciones de muestreo, ausencia de árboles con diámetro superior a los 37 cm, el modelo no es aplicable a otras situaciones diferentes al experimento.

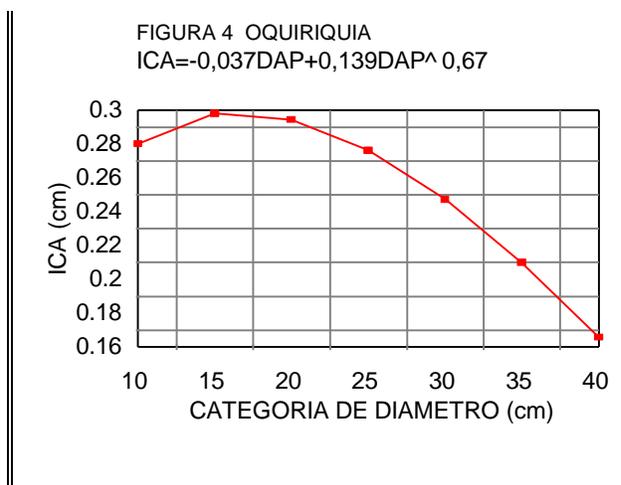
## B. Modelos en Lomerío

En un área de 400 has. de bosque seco subtropical, no intervenido de la región de las Trancas, Lomerío, se

establecieron ochenta Parcelas Permanentes de Muestreo, PPM, de un décimo de hectárea, cada una. Dieciséis meses después de la medición correspondiente al establecimiento se repitió esta operación, el incremento observado se dividió entre 1.33, para referirlo a un año.

En las ocho hectáreas que comprenden las PPM se ubicaron 1902 árboles que estaban vivos al momento de ambas mediciones, esto excluye a los ingresos y a la mortalidad. Al observar la distribución de los incrementos respecto al diámetro se encontraron casos anormales, atribuibles a errores en medición o digitalización, estos casos extremos se eliminaron del análisis para evitar distorsiones indeseables. La reducción correspondió aproximadamente al 10% de la población, equitativamente distribuida en ambos extremos, incrementos muy grandes y decrecimientos, el análisis se hace con 1703 casos.

La estructura de la población presenta una distribución diamétrica con una abundancia anormalmente grande en las categorías menores, 10 a 30 cm de diámetro, respecto a las categorías mayores a 60 cm, este hecho hace que las categorías menores tengan un peso relativo excesivo en el ajuste y alteren los parámetros de la ecuación. A continuación se muestra la distribución diamétrica absoluta de las observaciones.



DAP	ABUND
10-20	695
20-30	621
30-40	327
40-50	168
50-60	63
60-70	21
70-80	7
TOTAL	1902

Para evitar los efectos señalados en la parte anterior se calculó el promedio de los diámetros observados en cada clase diamétrica, amplitud de 10 cm, y de igual forma los promedios de los incrementos correspondientes. En la Figura 5 se muestran los promedios de incremento en función de los promedios de los diámetros de las diferentes clases.

Los parámetros estimados para la ecuación del ICA se observan en la Figura 6, esta ecuación es aplicable, en forma preliminar, a bosques con características ecológicas y silviculturales similares a las de Lomerío. En el Anexo 1 se presentan los indicadores estadísticos correspondientes al análisis de regresión.

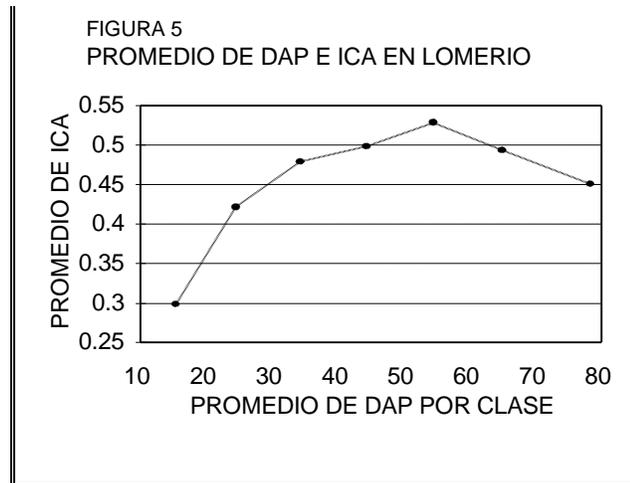
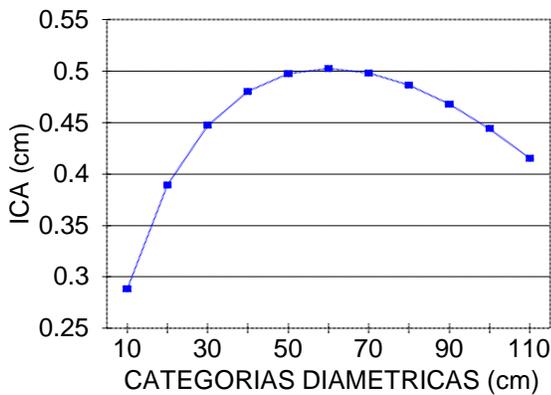


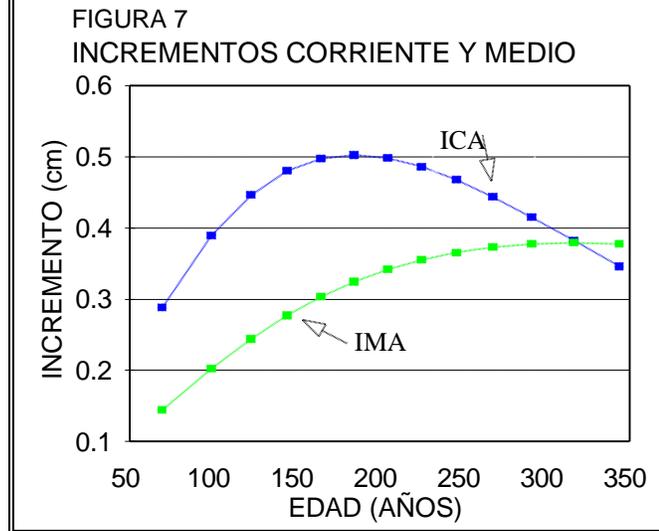
FIGURA 6 LOMERIO  
ICA=-,017\*DAP+0,098\*DAP^0,67



El turno, tiempo óptimo de crecimiento de los árboles, se determina cuando el ICA es marginal, o sea que es menor que el crecimiento medio anual, IMA, esto sucede a partir del momento en el que ambas curvas se cruzan, en la Figura 7 se muestra la proyección de ambas curvas, calculadas a partir de la ecuación ajustada. La intersección de las curvas sucede alrededor de los 300 años a partir del establecimiento y la regeneración. En los sistemas policíclicos o de selección, se aprovecha la masa en sucesivos ciclos de corta, comprendidos dentro del lapso correspondiente al turno.

### C. Simulación del Crecimiento

En el manejo del bosque se parte de un principio básico que indica que se puede aprovechar un volumen equivalente al crecimiento del bosque en un período determinado, si se quiere mantener el potencial de producción del bosque debe haber un equilibrio entre la intensidad de aprovechamiento y el ciclo de corta, tiempo para que el bosque crezca. Además de las restricciones de la intensidad del aprovechamiento se debe tomar en cuenta la proporción natural de la abundancia de las diferentes especies y la estrategia ecológica de perpetuación de cada una de ellas.



Para dar una aplicación práctica al estudio de crecimiento se hizo la simulación del crecimiento de un bosque a partir de su inventario. La simulación se hace mediante una hoja electrónica, denominada TUNEL, desarrollada en el programa Quatro para “Windows”. La hoja consta de cuatro bloques de celdas, uno interactivo y tres operativos.

La Hoja electrónica se adjunta en un disco de 3 1/2” y la descripción del uso en la parte correspondiente a los métodos básicos de procesamiento de información de PPMs.

#### D. Modelos Específicos

Se determinaron los parámetros que describen el incremento de las especies de mayor abundancia. Los indicadores estadísticos se encuentran en el Anexo 1. Las especies estudiadas son las siguientes:

- CURUPAU BLANCO (*Anadenanthera* sp)
- CURUPAU COLORADO (*Anadenanthera* sp)
- JICHITURIQUI (*Aspidodperma* sp.)
- MOMOQUI (*Cæsalpineia pluviosa*)
- SIRARI (*Peltogine* sp.)
- TARARA AMARILLA (*Centrolobium microchæte*)
- TASAA (*Pæppigia procera*)
- YESQUERO (*Cariniana estrellensis*)

En los casos de jichituriqui y sirari las variables independientes: diámetro y diámetro elevado a la potencia 0,67 no tienen un aporte significativo, probabilidad de encontrar una “T” mayor a la calculada, por lo que los modelos no son válidos.

---

**SECCION V**  
**BIBLIOGRAFIA**

---

- Claros, A. C. ; Licona, J. C. 1995. Establecimiento de Parcelas Permanentes de Medición en la Zona de Las Trancas, Lomerío. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. Documento Técnico 16/1995. 86p.
- Dawkins, 1958. The Management of Natural Tropical High Forest with Special Reference to Uganda. Imperial Forestry Institute, University of Oxford. Institute paper No. 34. 155 p.
- Sheil, D. 1995. A critique of Permanent Plot Methods and Analisis with Examples from Budongo Forest, Uganda. *Forest Ecology and Management*. 77: 11-37.
- Steel, R. G. D. y Torrie, J. H. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. McGraw-Hill. New York. 633p.
- Del Valle, J. I. 1986. La ecuación de Crecimiento de Von Bertalanffy en la Determinación de la Edad y el Crecimiento de Arboles Tropicales. *Revista Facultad de Agronomía (Colombia)*. 39(1):61-74.
- Del Valle, J. I. 1979. Curva Preliminar de Crecimiento del Cativo (*Prioria copaifera*). *Revista Facultad de Agronomía (Colombia)* 32(2):19-26.
- Vanclay, J. K. 1991. Data Requirements for Developing Growth Models for Tropical Moist Forests. *Commonwealth Forestry Review* 70:248-271.

## ANEXO 1

### Indicadores Estadísticos de los Modelos Ajustados

#### OQUIRIQUIA

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 475 MULTIPLE R: 0.728 SQUARED MULTIPLE R: 0.530  
ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .529 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.274

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.037	0.005	-2.158	0.014	-8.025	0.000
DAP67	0.139	0.014	2.825	0.014	10.507	0.000

#### ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	39.819	2	19.910	265.809	0.000
RESIDUAL	35.354	472	0.075		

90% DE LAS OBSERVACIONES DE ESPECIES COMERCIALES EN LOMERÍO  
MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 1703 MULTIPLE R: 0.815 SQUARED MULTIPLE R: 0.664  
ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .664 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.385

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.015	0.002	-0.630	0.019	-6.251	0.000
DAP67	0.105	0.007	1.434	0.019	14.225	0.000

#### ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	498.401	2	249.200	1682.122	0.000
RESIDUAL	251.997	1701	0.148		

PROMEDIOS DE LOS DIÁMETROS Y LOS INCREMENTOS  
MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 6 MULTIPLE R: 0.998 SQUARED MULTIPLE R: 0.996  
ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .995 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.033

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.017	0.002	-1.925	0.016	-7.994	0.001
DAP67	0.098	0.008	2.879	0.016	11.954	0.000

#### ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	1.219	2	0.610	550.013	0.000
RESIDUAL	0.004	4	0.001		

CURUPAÚ BLANCO *Anadenanthera* sp

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 38 MULTIPLE R: 0.886 SQUARED MULTIPLE R: 0.784  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .779 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.328

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.049	0.015	-2.415	0.011	-3.257	0.002
DAP67	0.216	0.049	3.251	0.011	4.385	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	14.102	2	7.051	65.524	0.000
RESIDUAL	3.874	36	0.108		

CURUPAÚ COLORADO (*Anadenanthera* sp)

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 265 MULTIPLE R: 0.831 SQUARED MULTIPLE R: 0.691  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .690 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.397

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.039	0.006	-1.928	0.014	-6.545	0.000
DAP67	0.185	0.020	2.716	0.014	9.217	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	92.552	2	46.276	293.971	0.000
RESIDUAL	41.401	263	0.157		

JICHITURIQUI (*Aspidosperma* sp.)

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 192 MULTIPLE R: 0.792 SQUARED MULTIPLE R: 0.627  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .625 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.214

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.001	0.006	-0.097	0.014	-0.258	0.796
DAP67	0.038	0.016	0.888	0.014	2.364	0.019

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	14.586	2	7.293	159.406	0.000
RESIDUAL	8.693	190	0.046		

MOMOQUI (*Cæsalpinea pluviosa*)

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 107 MULTIPLE R: 0.742 SQUARED MULTIPLE R: 0.551  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .546 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.472

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.033	0.012	-1.414	0.015	-2.664	0.009
DAP67	0.157	0.039	2.124	0.015	4.003	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	28.668	2	14.334	64.338	0.000
RESIDUAL	23.394	105	0.223		

SIRARI (*Peltogine* sp.)

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 41 MULTIPLE R: 0.888 SQUARED MULTIPLE R: 0.789  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .784 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.145

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	0.010	0.005	1.245	0.017	2.198	0.034
DAP67	-0.010	0.016	-0.361	0.017	-0.637	0.528

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	3.069	2	1.535	72.972	0.000
RESIDUAL	0.820	39	0.021		

TARARA AMARILLA (*Centrolobium microchæte*)

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 107 MULTIPLE R: 0.742 SQUARED MULTIPLE R: 0.551  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .546 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.472

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.033	0.012	-1.414	0.015	-2.664	0.009
DAP67	0.157	0.039	2.124	0.015	4.003	0.000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	28.668	2	14.334	64.338	0.000
RESIDUAL	23.394	105	0.223		

TASAA (*Pæpigia procera*)

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 773 MULTIPLE R: 0.739 SQUARED MULTIPLE R: 0.547  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .546 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.344

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	0.002	0.004	0.092	0.015	0.467	0.640
DAP67	0.041	0.012	0.648	0.015	3.276	0.001

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	110.152	2	55.076	465.145	0.000
RESIDUAL	91.291	771	0.118		

YESQUERO (*Canniana estrellensies*)

MODEL CONTAINS NO CONSTANT.

DEP VAR: ICA N: 28 MULTIPLE R: 0.818 SQUARED MULTIPLE R: 0.669  
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .656 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.290

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P(2 TAIL)
DAP	-0.026	0.009	-2.196	0.019	-2.704	0.012
DAP67	0.124	0.034	2.933	0.019	3.612	0.001

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	4.416	2	2.208	26.260	0.000
RESIDUAL	2.186	26	0.084		